DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.170012

闫国振, 张征, 梁康, 娄华君. 鄂尔多斯高原泊江海子流域土地利用动态变化及驱动因素分析[J].中国生态农业学报, 2017, DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.170012
Yan G Z, Zhang Z, Liang K, Lou H J. Analysis on characteristics and driving forces of land use change in the Bojiang Lake basin, the Ordos Plateau, China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.170012

鄂尔多斯高原泊江海子流域土地利用动态变化及驱动因素分析*

闫国振[1], 张　征[1], 梁　康[2**], 娄华君[2]

(1. 北京林业大学林学院　北京　100083; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室　北京　100101)

摘　要: 土地作为陆地生态系统的载体, 其利用方式的变化直接影响着陆地生态系统服务功能的种类和强度。泊江海子流域位于鄂尔多斯高原干旱半干旱区, 生态系统脆弱, 流域生态系统服务功能在近十几年严重退化。本文基于 Landsat 影像数据提取了研究区 1990—2015 年间的 6 期土地利用数据, 分析研究区土地利用时空变化特征及其驱动因素。结果显示: 研究期内主要的土地利用类型为草地、耕地和未利用地, 土地利用总体变化显著。空间变化上呈东西部及中北部耕地增加、南部未利用地减少的主要趋势。各土地利用类型面积变化及转换特征不一。草地整体处于动态转换平衡状态, 约占流域总面积的 70%。耕地和未利用地分别呈增加和减少的趋势, 变化面积分别占流域总面积的 6.05%和 7.62%, 其各自的主要来源或去向均为草地。水域面积减少了总面积的 1.45%, 主要转出去向为滩地。1995—2000 年是土地利用转换最为频繁的时段, 2005—2010 年间土地利用变化呈动态不平衡状态的表现最为突出。研究期内流域土地利用变化受降雨减少、气温升高等气候变化和生态恢复工程建设、水利工程建设等人类活动的综合驱动影响。合理规划土地利用, 限制种植高耗水树种及作物, 减少河流上游汇水区耕地等, 是保障研究区生态系统可持续健康发展的重要措施。

关键词: 泊江海子流域; 土地利用变化; 趋势与状态指数; 驱动因素; 生态系统服务功能; 鄂尔多斯遗鸥国家级自然保护区
中图分类号: F301　　**文献标识码:** A

Characteristics and driving factors of land use change in the Bojiang Lake Basin in Ordos Plateau, China*

YAN Guozhen[1], ZHANG Zheng[1], LIANG Kang[2**], LOU Huajun[2]

(1. College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Land use change can directly affect the variety and intensity of terrestrial ecosystem service functions. The Bojiang Lake Basin (BLB) is located in the Ordos Plateau in China and it belongs to the fragile ecosystem of the arid/semi-arid region. In the last decade, degradation of ecosystem services function in BLB has further jeopardized the endangered *Larus Relictus* birds. Land use structure and pattern in BLB have changed significantly in recent decades. However, few studies have been done on land use change and the related driving factors. This study aimed to investigate the characteristics and the related driving factors of land use change in BLB during 1990–2015 to provide a reference base for the improvement of ecosystem services function and the protection of *L. Relictus* birds. In the study, six periods (1990, 1995, 2000, 2005, 2010 and 2015) of 30 m resolution of land use data were extracted from Landsat remote sensing images. Land use change was investigated using trend and status index methods and then the main driving factors (i.e., climate change and human activity) analyzed. The results showed that grassland, farmland and unused land were the main land use types in 1990–2015, and there was significant change in land use in the BLB study area. Based on spatial variation, there was an increasing trend in farmland in the eastern, western and north-central regions, and then a decreasing trend in unused land in the southern region. The characteristics of the variation in area and dynamic conversion of each land use type were different. There was a dynamic balance in transformation in high, medium and low coverage grasslands, occupying some 70% of the lake basin. Farmland and unused land respectively had an apparent increase and decrease in trend. There was 6.05% increase in farmland area

* 国家自然科学基金项目(41501032)资助
**通讯作者: 梁康, 主要从事流域水文过程变化机理与水资源安全研究。E-mail: liangk@igsnrr.ac.cn
闫国振, 主要研究方向为生态学。E-mail: ygzh4161@163.com
收稿日期: 2017-01-04　接受日期: 2017-05-18
* This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (41501032).
**Corresponding author, E-mail: liangk@igsnrr.ac.cn
Received Jan. 4, 2017; accepted May 18, 2017

and 7.62% decrease in unused land area in the lake basin. Grassland was the main source of income for farmlands and therefore the main export for unused lands. The water area was decreased by 1.45% of the total area in 1990–2015, with beach as the main export. While in the period 1995–2000 there was frequently transformation in land use, that in 2005–2010 had the most dynamic imbalance in land use change. Both climatic factors and human activities significantly affected land use change in the BLB study area. Specifically in 1990–2015, the transformation in land use types was due to the combined effects of warming and drying climate (expressed as declining precipitation and rising temperature) and intensifying anthropogenic disturbances (expressed as ecological restoration and water conservancy projects). The increase in farmland, woodland and buildup area and the decrease in unused land were more affected by anthropogenic disturbances. While the decrease in water body and high coverage grassland and the increase in medium and low coverage grasslands were due to both climatic factors and human activities. Therefore, a reasonable land use planning such as restricting planting of forest with high water use, reducing the area of farmland in the catchment of the upper reaches of the rivers is critical for the protection for healthy and sustainable development of the study area.

Keywords: Bojiang Lake Basin; Land use change; Trend and status index; Driving factor; Ecosystem services function; Erdos *Larus relictus* National Nature Reserve

土地作为陆地生态系统的载体，其利用方式的变化引发各类陆地生态系统在类型、面积及空间分布格局上的改变，进而使得陆地生态系统服务功能的种类和强度受到影响[1-2]。同时，土地利用变化在加剧流域水循环、改变流域水量平衡等方面对流域水资源分布有着重要影响[3-4]。而在驱动机制上，土地利用变化主要受到气候变化和人类活动的综合作用[5-7]。土地利用变化和气候变化间的联系十分紧密，两者相互作用、相互影响[8-9]。人类活动的剧烈干扰导致近些年来全球及区域尺度上的土地利用变化显著，并对地表下垫面形态及水文过程产生明显影响[10]。

研究区泊江海子流域位于鄂尔多斯黄河中游干旱半干旱区过渡带，区域生态环境脆弱，水土流失严重且水资源贫乏[11]。近 10 多年来，在气候变化的背景下，大规模生态恢复措施的实施，如天然林保护工程，退耕还林/还草工程等，黄河中游地区土地利用格局变化显著[10,12]。罗娅等[13]对黄河中游地区 1998—2010 年间土地利用变化的研究显示，生态恢复工程的有效实施使研究区内农用地明显减少，林草面积明显增加。刘晓林等[14]研究指出 1980 年代至 2010 年黄河内蒙古段十大孔兑流域的土地利用变化呈现出草地面积逐渐增加、未利用地逐渐减少的趋势，且 1998 年以后土地利用变化幅度和速度较前期有变快的趋势。泊江海子流域最重要的生态服务功能之一是保护流域内的鄂尔多斯遗鸥(*Larus relictus*)，是国家级自然保护区的珍稀物种遗鸥及其栖息地。泊江海子湖泊水面中的湖心岛即是遗鸥的繁殖栖息地，但在气候变化和人类活动干扰下，湖泊中的湖心岛在近些年间因湖泊水位下降和湖面萎缩而使其可供遗鸥繁殖栖息的生态功能不断退化甚至消失。何芬奇等[15]的研究显示, 2004 年之后未再发现遗鸥在此繁殖栖息。泊江海子湖泊的萎缩在很大程度上反映出整个流域陆地生态系统及其服务功能的严重退化，这已然成为流域当前面临的最主要的生态问题。泊江海子流域属于缺资料地区，当前对泊江海子流域的研究，主要集中在气候环境变迁[16-18]、生物多样性[19-20]和水资源特征[21-25]等方面，针对泊江海子流域土地利用格局变化以及驱动因素等方面的研究比较薄弱。在土地利用变化方面，仅有梁犁丽等[23]在研究区植被-水资源模拟研究中对 1996—2005 年间的不同植被类型面积进行了统计，另有部分研究对泊江海子湖区及周边的植被群落[26]及植被覆盖方式的变化[24,27]进行过简单的描述。综合考虑研究区所面临的突出生态问题以及研究现状，同时结合研究区为闭流盆地的地理特征以及生态恢复和水土保持工程等国家和地方政策的影响区，本文基于 30 m 空间分辨率的 Landsat 遥感影像数据对研究区泊江海子流域 1990—2015 年间的土地利用进行分类提取，并对其时空变化特征及其驱动因素进行针对性的系统分析，旨在一定程度上完善研究区的土地利用变化方面的科学基础数据，为泊江海子流域陆地生态系统服务功能改善、流域水资源合理利用以及遗鸥自然保护区的保护与管理提供一定的科学参考。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

泊江海子流域地处内蒙古自治区鄂尔多斯市东胜区以西约 45 km 处(图 1)，地理位置介于 109°6′30″~109°32′50″E 和 39°41′40″~39°56′2″N。流域位于鄂尔多斯波状高原区，海拔在 1 360~1 600 m 之间，属温带

干旱半干旱大陆性气候，降雨主要集中在每年的 7 月和 8 月，约占全年降水量的 65%。流域年均气温约 5.2 ℃，多年平均降水量约为 345 mm，蒸发量约为 2 524 mm。草地是流域内最主要的植被类型。泊江海子流域属四周高、中间低的闭合盆地，流域面积约 745 km^2。鄂尔多斯遗鸥国家级自然保护区位于流域中部，面积约 156 km^2。泊江海子湖泊位于流域和保护区的中心，是流域内最大的湖泊，水面面积约 10 km^2。鸡沟河和乌尔图河是流域内最大的两条季节性河流，分别从西侧和东侧汇集流入泊江海子湖泊。

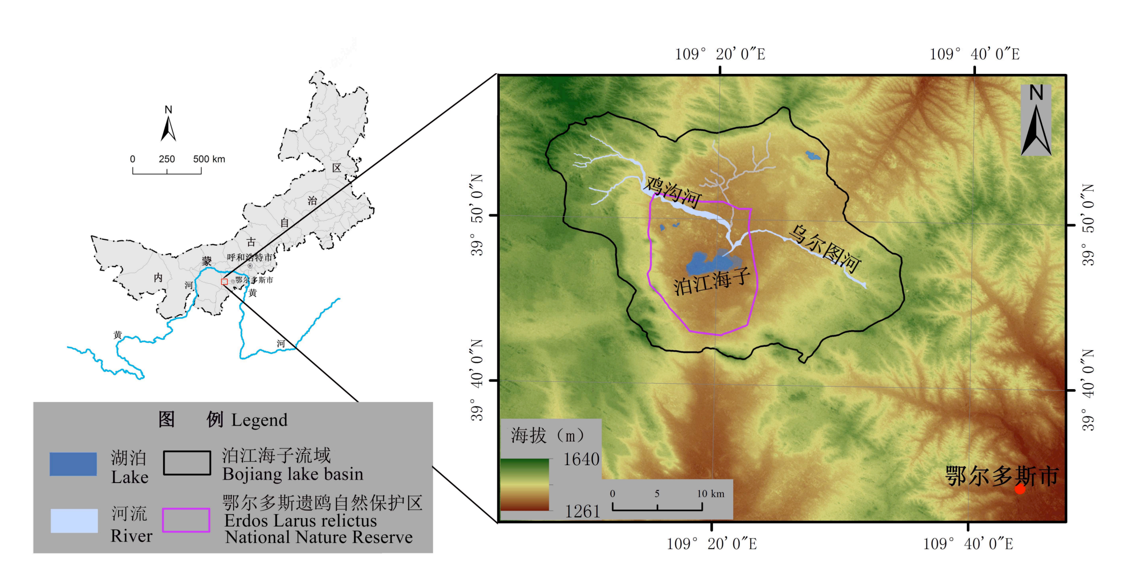


图 1　研究区位置及概略图

Fig. 1　Location and sketch map of the study area of the Bojiang Lake Baisn

1.2　数据来源

1.2.1　土地利用数据

土地利用数据来源于 Landsat 遥感影像数据(下载地址：https://earthexplorer.usgs.gov/)的人工解译，数据空间分辨率为 30 m。分别对研究区 1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年共 6 期的土地利用类型数据进行了解译。在综合研究区气候特征、土地利用特点及遥感影像数据质量的基础上，各期影像数据的时间见表 1，表中的平均云量是指本文研究区域的云量。

表 1　用于土地利用分类数据提取的遥感影像信息

Table 1　Remote sensing image information used for the extraction of land use type

年份 Year	影像传感器 Image sensor	成像时间(年-月-日) Time (year-month-day)	影像轨道号(列/行) Image orbit (path/row)	平均云量 Mean cloudiness (%)	成像质量 Image quality
1990	TM	1990-06-01	128/32	0	好 Good
1995	TM	1995-08-18	128/32	0	好 Good
2000	TM	2000-08-31	128/32	0	好 Good
2005	TM	2005-07-28	128/32	0	好 Good
2010	TM	2010-08-27	128/32	0	好 Good
2015	OLI	2015-08-25	128/32	0	好 Good

TM：专题制图仪; OLI：陆地成像仪。TM: Thematic Mapper; OLI: Operational Land Imager.

1.2.2　气象数据

利用中国气象数据网(http://data.cma.cn/)提供的降雨和气温数据对研究区土地利用变化的气候驱动进行了分析。本文所利用的气象数据为鄂尔多斯市东胜气象站 1990—2015 年的降雨和气温月数据，经求和平均后获得年值，进而分析研究区的降水和气温变化。

1.3　研究方法

1.3.1　土地利用类型数据获取

利用 Landsat TM 和 OLI 遥感影像数据，经过几何校正、大气校正等图像预处理，在 ENVI 5.2 软件中采用监督分类中的最大似然法对研究区 1990—2015 年间的 6 期土地利用类型进行分类提取。在参考我国

《土地利用现状分类》标准的基础上，结合研究区土地利用特征及本文研究目的，将研究区土地利用类型分为耕地、林地、高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地、水域、滩地、建设用地及未利用地共 9 类。根据笔者前期对研究区的野外实地调查记录对本次土地利用分类提取的结果进行了精度验证, 9 种类别共 75 个样本点，验证精度为 93.33%，本次土地利用分类提取数据可信。

1.3.2　土地利用变化分析

运用 ArcGIS 10.2 软件的空间分析模块，对 6 期土地利用数据进行统计和叠加分析，得到各期之间的土地利用类型面积转移矩阵，在此基础上采用趋势与状态指数、净变化速度、总趋势与状态指数和总净变化速度分析泊江海子流域 26 年间土地利用类型变化的过程和趋势。主要指数的计算方法如下。

1)趋势与状态指数:

$$P_{\rm s}=\frac{N_{\rm c}}{T_{\rm c}}=\frac{\Delta U_{\rm in}-\Delta U_{\rm out}}{\Delta U_{\rm in}+\Delta U_{\rm out}} \tag{1}$$

其中,

$$N_{\rm c}=\frac{U_{\rm b}-U_{\rm a}}{U_{\rm a}}\times100\%=\frac{\Delta U_{\rm in}-\Delta U_{\rm out}}{U_{\rm a}}\times100\% \tag{2}$$

$$T_{\rm c}=\frac{\Delta U_{\rm in}+\Delta U_{\rm out}}{U_{\rm a}}\times100\% \tag{3}$$

式中: $P_{\rm s}$ 为某研究时段内各土地利用类型变化的趋势与状态指数, $N_{\rm c}$ 和 $T_{\rm c}$ 分别为各土地利用类型的面积净变化和总变化, $U_{\rm a}$、$U_{\rm b}$ 分别为研究初期和末期某一土地利用类型的面积, $\Delta U_{\rm in}$ 为时段内其他土地利用类型转变为某土地利用类型的面积之和, $\Delta U_{\rm out}$ 为同时段某一土地利用类型转变为其他土地利用类型的面积之和。

2)净变化速度:

$$R_{\rm s}=\left[\sqrt[T]{\frac{U_{\rm b}}{U_{\rm a}}}-1\right]\times100\%=\left[\sqrt[T]{\frac{U_{\rm a}+\left(\Delta U_{\rm in}-\Delta U_{\rm out}\right)}{U_{\rm a}}}-1\right]\times100\% \tag{4}$$

式中: $R_{\rm s}$ 为某研究时段内各土地利用类型的净变化速度, T 为研究时段。

3)总趋势与状态指数:

$$P_{\rm t}=\frac{S_{\rm a}}{S_{\rm s}}=\frac{\sum_{i=1}^{n}\left|\Delta U_{{\rm out}-i}-\Delta U_{{\rm in}-i}\right|}{\sum_{i=1}^{n}\left|\Delta U_{{\rm out}-i}+\Delta U_{{\rm in}-i}\right|},\quad 0\le\frac{S_{\rm a}}{S_{\rm s}}\le1\text{且}0\le P_{\rm t}\le1,\ S_{\rm s}\ne0 \tag{5}$$

其中,

$$S_{\rm a}=\frac{\sum_{i=1}^{n}\left|U_{{\rm b}i}-U_{{\rm a}i}\right|}{2\sum_{i=1}^{n}U_{{\rm a}i}}\times100\%=\frac{\sum_{i=1}^{n}\left|\Delta U_{{\rm in}-i}-\Delta U_{{\rm out}-i}\right|}{2\sum_{i=1}^{n}U_{{\rm a}i}}\times100\% \tag{6}$$

$$S_{\rm s}=\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\Delta U_{{\rm out}-i}+\Delta U_{{\rm in}-i}\right)}{2\sum_{i=1}^{n}U_{{\rm a}i}}\times100\% \tag{7}$$

式中: P_t 为某研究时段内所有土地利用类型变化的总趋势与状态指数, $S_{\rm a}$ 和 $S_{\rm s}$ 分别为所有土地利用类型的面积净变化和总变化, $U_{{\rm a}i}$、$U_{{\rm b}i}$ 分别为研究初期和末期第 i 种土地利用类型的面积, $\Delta U_{{\rm out}-i}$ 为研究时段内第 i 种土地利用类型转变为其他类型的面积之和, $\Delta U_{{\rm in}-i}$ 为其他土地类型转变为第 i 种类型的面积之和, n 为土地型总数。

4)总净变化速度:

$$R_t = \left[\sqrt[T]{\frac{\sum_{i=1}^{n} U_{ai} + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\left|U_{bi} - U_{ai}\right|}{\sum_{i=1}^{n} U_{ai}}} - 1 \right] \times 100\% \tag{8}$$

式中: R_t 为某研究时段内所有土地利用类型的总净变化速度; T 为研究时段。

1.3.3 气象数据分析

在提取研究区年均降雨和气温数据的基础上，利用累积距平法对研究区研究期内的年均降雨和气温变化特征和趋势进行了分析。累积距平的计算方法如下。

$$AD_i = \sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)/\bar{x} \tag{9}$$

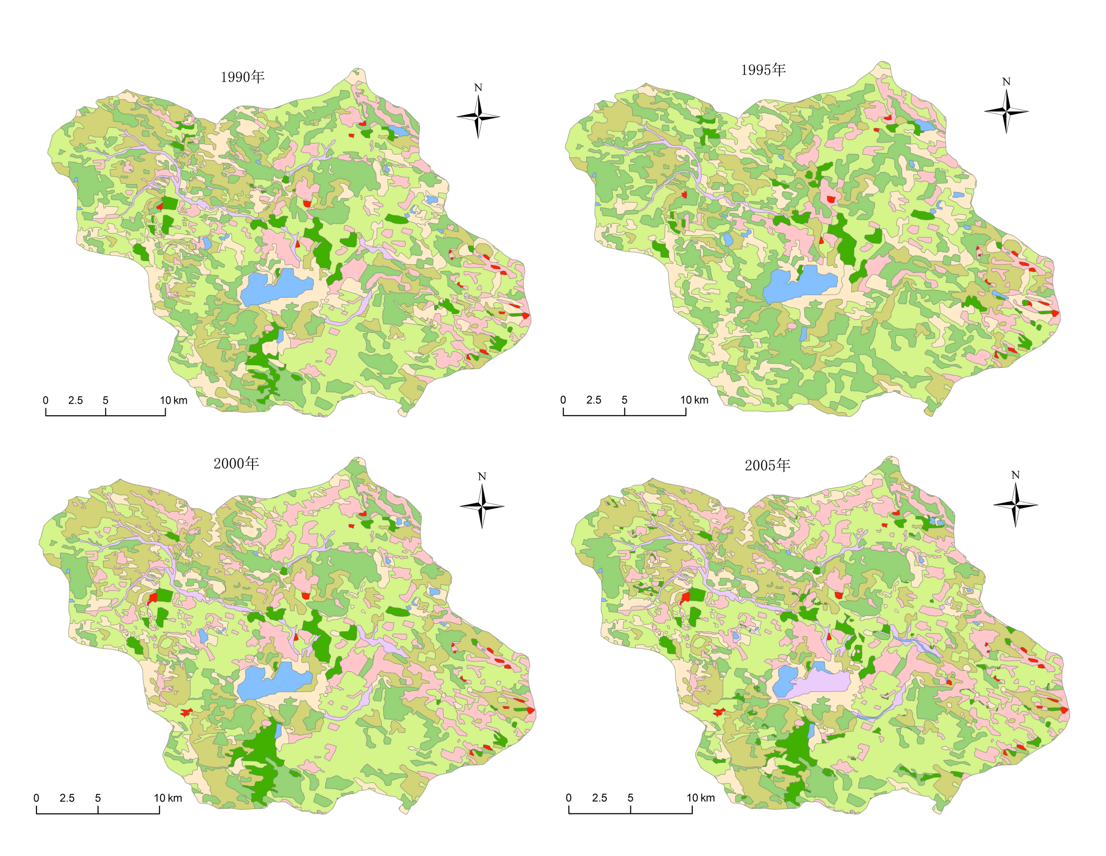
式中: AD_i 为研究期内某年的年均气温或降水量的累积距平值, x_i 为某年的年均气温或者降水量, $\bar{x}$ 为研究期内的多年平均气温或降水量。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用类型的变化特征

1990—2015 年泊江海子流域不同时期土地利用空间分布和变化分别见图 2 和图 3。

图 2 显示，流域最主要的土地利用类型为草地，其次为耕地和未利用地。图 3 显示 1990—1995 年间流域土地利用空间变化主要发生在西部和南部, 1995—2000 年间流域内土地利用空间变化分布广泛, 2000—2005 年间流域土地利用空间变化主要发生在中部, 2005—2010 年间流域土地利用空间变化主要发生在西部和中北部, 2010—2015 年间流域土地利用空间变化主要发生在流域中部。各时段发生土地利用变化的面积占流域总面积的比例依次分别为: 54.90%, 90.43%, 12.08%, 15.76%和 9.65%。在 1990—2015 年间流域土地利用空间变化分布广泛，变化面积占流域总面积的 66.67%。综合图 2 和图 3，研究期内流域西部区域呈耕地面积增加，高覆盖度草地减少趋势；流域东部区域耕地面积增加，高覆盖度草地和未利用地面积减少；流域中北部区域耕地和建设用地面积增加、高覆盖度草地和林地面积减少；流域南部区域则呈林地和低覆盖度草地增加、高覆盖度草地和未利用减少的趋势。



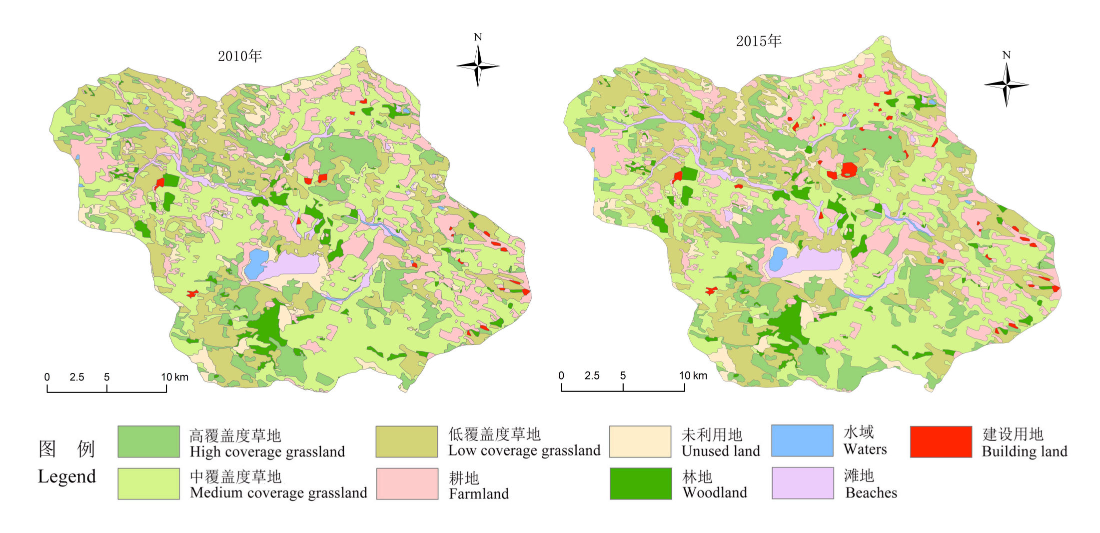


图 2　泊江海子流域 1990—2015 年间的土地利用空间分布

Fig. 2　Spatial distribution of land use types in the Bojiang Lake Basin in 1990–2015

1990—1995年

1995—2000年

2000—2005年

2005—2010年

2010—2015年

1990—2015年

N

0 3 6 km

图 例
Legend

土地利用未变化区
Land use unaltered area

土地利用变化区
Land use altered area

图 3　泊江海子流域 1990—2015 年间不同时段的土地利用空间变化

Fig. 3 Spatial variations of land use types changes at different periods in the Bojiang Lake Basin during 1990–2015

1990—2015 年间流域各土地利用类型在流域中的面积占比变化见表 2。研究期内草地面积较为稳定，约占流域总面积的 70%。其中，高覆盖度草地整体呈减少趋势，26 年间面积占比减少了 7.59%；中、低覆盖度草地呈增长趋势，26 年间面积占比分别增长了 2.95%和 5.23%。耕地面积占比在 26 年间增长了 6.05%，未利用地面积占比则减少了 7.62%。林地面积占比微弱增长，水域面积占比减少 1.45%，滩地面积占比增长了 1.59%，建设用地面积占比增长了 0.49%。

利用趋势与状态指数和净变化速度分析了泊江海子流域不同土地利用类型在研究期不同时段内的变化情况，结果见表 3。1990—1995 年间流域内面积变化最大的土地利用类型为高覆盖度草地，增加了 31.96 km^2，主要来源于中覆盖度草地、耕地和林地。水域是此时期内变化程度最强的土地利用类型，其趋势与状态指数达 0.73，面积增加的来源主要为未利用地。同期内耕地和林地的变化程度也较突出，其趋势与状态指数均为–0.49，面积减少的转出去向主要为高覆盖度草地。滩地在此时期内的净变化速度最快，且处于动态转出状态，转出去向主要为低覆盖度草地和未利用地。在 1995—2000 年的研究时段内，高覆盖度草地面积减少了 81.63 km^2，转出去向主要为中覆盖度草地和耕地。此研究时段内的耕地、水域和滩地的土地利用变化程度也较强烈，趋势与状态指数分别为 0.71、–0.81 和 0.97。耕地和滩地呈面积增加的趋势，耕地的转入来源主要为高、中覆盖度草地，滩地的转入来源主要为未利用地和草地。水域面积减少的转出去向主要为未利用地。2000—2005 年间水域和滩地两种土地利用类型在面积、趋势与状态指数及净变化速度上均较突出。由于在此时段内泊江海子湖泊发生萎缩，流域水域面积减少，其主要转出去向为滩地。未利用地是 2005—2010 年间变化最突出的土地利用类型，其面积减少 26.05 km^2，净变化速度为 9.20%，主要转换为低覆盖度草地。在 2010—2015 年间变化最为突出的土地利用类型为建设用地(P_s=0.91, R_s=10.89%)，其面积增加的主要来源为中、低覆盖度草地。

表 2 泊江海子流域 1990—2015 年不同土地利用类型的面积占比变化

Table 2 Variations in area percentages of different land use types in the Bojiang Lake Basin during1990–2015 %

土地利用类型 Land use type	年份 Year 1990	1995	2000	2005	2010	2015
高覆盖度草地 High coverage grassland	21.62	25.91	14.94	14.70	12.01	14.03
中覆盖度草地 Medium coverage grassland	31.66	32.65	34.33	33.30	36.32	34.61
低覆盖度草地 Low coverage grassland	16.14	14.18	20.09	19.43	21.67	21.37
耕地 Farmland	9.85	7.54	14.02	14.97	16.22	15.90
未利用地 Unused land	13.24	13.83	8.50	9.15	5.65	5.62
林地 Woodland	3.74	2.81	4.08	4.30	4.09	4.08
水域 Water area	1.91	2.05	1.83	0.90	0.63	0.46
滩地 Bottomland	1.52	0.70	1.80	2.82	2.93	3.11
建设用地 Building land	0.33	0.33	0.41	0.43	0.49	0.82

表 3 1990—2015 年不同时段泊江海子流域各土地利用类型面积及指数变化

Table 3 Variations in areas and indexes of land use types in the Bojiang Lake Basin in different periods from 1990 to 2015

时段 Period	指标 Index	耕地 Farmland	林地 Woodland	高草 HCG	中草 MCG	低草 LCG	未用 UL	水域 Waters	滩地 Beaches	建设 BL
1990—1995	面积变化 Area change (km^2)	−17.16	−6.92	31.96	7.41	−14.53	4.37	1.01	−6.15	0.01
	趋势与状态指数(P_s) Trend and status index	−0.49	−0.49	0.33	0.05	−0.16	0.15	0.73	−0.96	0.02
	净变化速度(R_s) Net change speed (%)	−5.20	−5.56	3.69	0.62	−2.55	0.87	1.38	−14.47	0.08
1995—2000	面积变化 Area change (km^2)	48.19	9.45	−81.63	12.46	43.98	−39.68	−1.6	8.2	0.63
	趋势与状态指数(P_s) Trend and status index	0.71	0.45	−0.56	0.07	0.29	−0.40	−0.81	0.97	0.51
	净变化速度(R_s) Net change speed (%)	13.20	7.75	−10.42	1.01	7.22	−9.28	−2.20	20.87	4.68
2000—2005	面积变化 Area change (km^2)	7.05	1.62	−1.81	−7.63	−4.90	4.83	−6.9	7.6	0.14
	趋势与状态指数(P_s) Trend and status index	0.67	0.12	−0.14	−0.48	−0.43	0.68	−0.78	0.80	0.85
	净变化速度(R_s)	1.32	1.05	−0.33	−0.60	−0.66	1.48	−13.19	9.41	0.89

	Net change speed (%)									
2005—2010	面积变化 Area change (km^2)	9.34	−1.55	−20.03	22.46	16.64	−26.05	−2.04	0.8	0.43
	趋势与状态指数(P_s) Trend and status index	0.98	−0.88	−0.97	0.94	0.53	−0.96	−1.00	0.95	0.98
	净变化速度(R_s) Net change speed (%)	1.62	−0.99	−3.96	1.75	2.20	−9.20	−6.99	0.75	2.54
2010—2015	面积变化 Area change (km^2)	−2.39	−0.02	15	−12.76	−2.21	−0.18	−1.26	1.35	2.47
	趋势与状态指数(P_s) Trend and status index	−0.35	−0.01	0.80	−0.48	−0.24	−0.08	−0.86	0.57	0.91
	净变化速度(R_s) Net change speed (%)	−0.40	−0.01	3.15	−0.96	−0.28	−0.09	−6.10	1.21	10.89
1990—2015	面积变化 Area change (km^2)	45.03	2.58	−56.51	21.94	38.98	−56.71	−10.79	11.8	3.68
	趋势与状态指数(P_s) Trend and status index	0.78	0.13	−0.54	0.21	0.43	−0.63	−0.94	0.89	0.96
	净变化速度(R_s) Net change speed (%)	10.05	1.79	−8.29	1.80	5.78	−15.75	−24.82	15.33	20.19

高草：高覆盖度草地；中草：中覆盖度草地：低草：低覆盖度草地；未用：未利用地；建设：建设用地。HCG: high coverage grassland; MCG: medium coverage grassland; LCG: low coverage grassland; UL: unused land; BL: building land.

1990—2015年间流域内各土地利用类型间互相转换明显。耕地、高覆盖度草地、未利用地、水域、滩地及建设用地在26年间的趋势与状态指数均大于0.5。水域(R_s=24.82%)和建设用地(R_s=20.19%)的净变化速度较快，26年间水域面积处于减少状态，转出去向主要为滩地、低覆盖度草地和未利用地；建设用地则呈现明显的增加趋势，其转入来源主要为草地。耕地、未利用地和滩地在研究期内的净变化速度也均超过10%。耕地和滩地面积呈增加趋势，其主要转入来源分别为草地和水域。未利用地面积处于减少状态，其转出去向主要为中、低覆盖度草地。林地、中覆盖度草地和低覆盖度草地在研究期内也处于面积增加的状态，高覆盖度草地则呈面积减少趋势。林地的转入来源主要为高覆盖度草地，中覆盖度草地的转入来源主要为高覆盖草地和未利用地，低覆盖度草地的转入来源主要为未利用地，高覆盖度草地的转出去向主要为耕地和中覆盖度草地。

2.2 土地利用类型综合变化特征

利用总趋势与状态指数和总净变化速度分析了泊江海子流域土地利用类型综合变化特征，结果见表4。泊江海子流域在1990—2015年总时间段内土地利用类型总体面积净变化(S_a=16.66%)和总净变化速度(R_t=3.13%)两个指标均高于各子研究时段。这表明泊江海子流域土地利用类型在25年间变化明显。1995—2000年的总变化指数超过45.22%，表明流域土地利用变化在此研究时段内动态转换频繁。2005—2010年的总趋势与状态指数达到了0.85，表明此时段相比于其他研究时段的流域土地利用变化呈现出明显的动态不平衡状态，各土地利用类型呈单向转入或转出的变化趋势。

表4　1990—2015年不同时段泊江海子流域土地利用变化综合趋势与状态指数及变化速度

Table 4　Comprehensive indexes of trend and status and the rate of land use changes in the Bojiang Lake Basin in different periods from 1990 to 2015

指标 Index	时段 Period					
	1990—1995	1995—2000	2000—2005	2005—2010	2010—2015	1990—2015
总体面积净变化(S_a) Net change area (%)	6.01	16.52	2.85	6.67	2.53	16.66
总体面积总变化(S_s) Total change area (%)	27.45	45.22	6.04	7.88	4.83	33.33
总趋势与状态指数(P_t) Total trend and status index	0.22	0.37	0.47	0.85	0.52	0.50
总净变化速度(R_t) Total net change speed (%)	1.18	3.10	0.56	1.30	0.50	3.13

2.3 土地利用变化驱动因素分析

2.3.1 气候变化驱动

气候变化对土地利用变化的作用较缓慢且相对稳定，具有累积效应[28]。气温和降雨量的变化是气候变化的主要表现[29]。研究区1990—2015年间气温和降雨量变化趋势分别见图4a和图4b。研究区年均气温整体呈升高趋势，1990—1996年呈降低趋势，1997年之升高。26年间的多年平均气温为6.6 ℃，1990—1996年和1997—2015年的多年平均气温分别为5.9 ℃和6.8 ℃，后一阶段年平均气温升高了0.9 ℃。研究区年降雨量整体呈减少趋势，1998年之后减少趋势更为明显。26年间的多年平均降雨量为333.4 mm，1990—1998年和1999—2015年的多年平均降雨量分别为355.7 mm和321.6 mm，后一阶段减少9.59%。

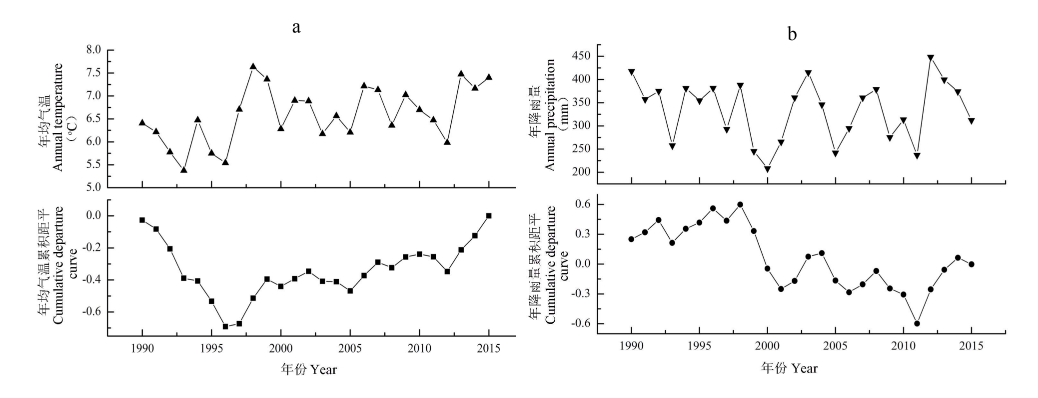


图 4　泊江海子流域 1990—2015 年间气温(a)和降雨量(b)变化趋势

Fig. 4　Change trends of temperature (a) and precipitation (b) in 1990–2015 in the Bojiang Lake Basin

降雨、气温等气候要素始终处于动态变化的过程中，且共同对土地利用的变化产生影响。以研究期内单个时段为例，1990—1995 年间的低温气候使地处高原的研究区内耕地面积减少，而因其引起的农业用水量的下降，也使得在降雨量未增加的条件下研究区内水域面积增加。而受 1996 年后气温升高及 1998 年后降雨量减少的影响，水域面积减少成为 2000—2005 年间研究区土地利用变化的突出特征之一。在整个研究期内，研究区降雨量减少、气温升高及伴随的蒸发增大，是气候因素对研究区土地利用变化产生驱动作用的主要表现形式。由于气候暖干化使得流域范围内蒸散发增加，流域径流及入湖径流量的减少，使得水域面积显著减少而滩地面积增加。1990—2015 年间研究区高覆盖度草地面积减少而中、低覆盖度草地面积的增加，也在一定程度上反映出流域土地利用变化受到气候变化的驱动。

2.3.2　人类活动驱动

人类活动是影响土地利用结构变化的重要因子，人为因素如社会经济、制度政策、人类生产生活建设等对土地利用格局变化也起到了重要作用[30]。综合本文对研究区土地利用变化分析以及已有的研究资料，本文选取生态恢复工程建设和水利工程建设两个指标，对 1990—2015 年间流域土地利用变化受人类活动驱动的影响进行分析。

1)生态恢复工程建设

研究区所在的鄂尔多斯市东胜区是天然林保护工程、退耕还林/还草工程等生态恢复工程的建设区。泊江海子镇位于东胜区西部，属沙漠、沙化区治理的重点区域[31]。1998 年建立的鄂尔多斯遗鸥国家级自然保护区，虽然没有直接的生态恢复工程建设，但禁牧等措施在作用上与生态恢复工程建设是同向的。在生态恢复工程建设和禁牧等措施的实施之下，东胜区的林业生态状况全面好转[32]。2000—2003 年东胜区荒漠化面积减少 10.92%[31], 2004—2007 年间东胜区完成天然林保护工程任务 40 km^2, “三北”四期防护林工程人工造林约 5.33 km^2[32]。

虽然笔者没有查阅到研究区所在的泊江海子镇区域内的生态恢复工程造林面积，且本文的土地利用变化分析也显示研究区林草面积占流域的比例仅由 1990 年的 73.15%增加到 2015 年的 74.09%，但有报道指出，1999—2007 年间泊江海子镇区域内的牧草高度增加了 50~60 cm[33]。笔者先前也曾对本文研究区的植被覆盖变化进行过相关研究[34]，结果显示研究区 1999—2013 年间的年均归一化植被指数(NDVI)相比 1982—1998 年间增长了 25.23%。在先前的研究中，笔者对研究区 2000 年和 2013 年的 250 m 空间分辨率的植被指数数据进行叠加，得到了研究区 14 年间植被指数的空间变化(图 5)。2000—2013 年间几乎整个研究区内的植被指数都呈增加趋势，增加值在 0.1 以上的面积达到了 211.88 km^2，占研究区总面积的 28.46%，且主要分布在河流两侧。而在 1982—1998 年间研究区平均植被指数值也仅为 0.18 左右，由此可见在生态恢复工程建设和禁牧等措施的影响下，研究区的植被得到了良好的生长。林草面积及植被覆盖度的增加、未利用地面积的减少等土地利用变化与研究区内生态恢复工程建设具有一定的紧密联系，是研究区土地利用变化受人类活动驱动的直观表现。

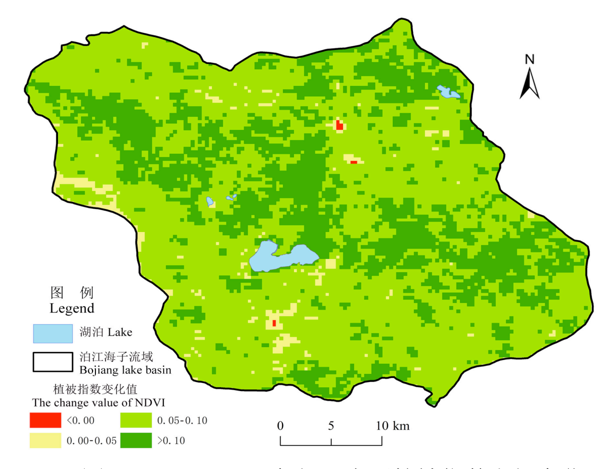


图 5　2000—2013 年间研究区植被指数空间变化

Fig. 5　Spatial variation of NDVI in 2000–2013 in the study area

研究区生态恢复工程建设主要是以沙柳为主，与柠条、沙棘等树种混交造林[31]。而沙柳属于高耗水植被，相比其他低耗水的固沙树种如油蒿等，相同面积的沙柳多消耗近 20%的水分[23]。图 5 显示，2000—2013 年间植被生长最好的区域主要分布在河流沿岸。这在一定程度上使得研究区在此时段内的植被耗水增加。同时，草地面积约占流域总面积的 70%，研究区牧草高度的增加[33]也会导致流域内地表径流的减小[3,35]。而本文的土地利用变化分析也显示，研究区内的水域面积在 2000—2005 年间由 13.61 km^2 减少到 6.71 km^2，且在后续的 10 年内一直呈减少的趋势。由此分析可知，生态恢复工程建设对流域内水域面积的减少也产生了一定的驱动作用。

2)水利工程建设

研究区属西北干旱半干旱区，其所在的泊江海子镇为鄂尔多斯市东胜区的重点农业镇。2000 年前后，开展了大量水利工程建设[36]。为了更好地分析研究区内水利工程建设对土地利用变化的驱动，笔者利用地面分辨率较高的 GoogleEarth 对研究区内的拦水坝和大口井两种水利工程的数量进行了粗略统计，GoogleEarth 影像日期为 2009 年 11 月 27 日，统计结果如图 6 所示。

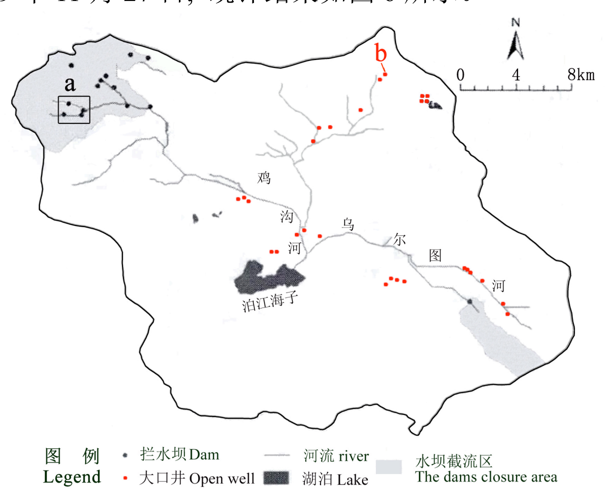


图 6　2009 年研究内的拦水坝和大口井空间分布

Fig. 6　Spatial distribution of dams and open wells in 2009 in the study area

笔者共统计到拦水坝 13 座，截流面积约为 60.83 km^2，占流域总面积的 8.15%。同时统计到大口井 28 处，宽度在 10~30 m 不等，长度在 50~100 m 不等。拦水坝截水和大口井水方便了农田的灌溉，对研究区内农业发展具有重要的推动作用。同时，拦水坝使研究区内地表水流量及湖泊补给量减少，大口井也使研究内水面无效蒸发增大。大口井的井水主要来自于工程开挖而渗出的地下潜水，这在一定程度上势必会引起研究区内地下水位的下降，进而影响到研究区内根系较浅的草地的生长。本文的土地利用变化分析也显示，耕地面积在研究期内呈增加趋势，其中 2000—2010 年间耕地面积增加了 16.39 km^2, 10 年间年均增长率为 15.71%。高覆盖度草地和水域面积在研究期内呈减少趋势，分别减少了流域总面积的 7.59%和 1.45%。

综合气候变化和人类活动对研究区土地利用变化的驱动，降雨减少、气温升高及伴随的蒸发增大是气

候因素对研究区土地利用变化的主要驱动形式，生态恢复工程和水利工程建设是人类活动对研究区土地利用变化的主要驱动形式。研究区土地利用变化是气候变化和人类活动综合驱动的结果。

3 结论与讨论

3.1 讨论

土地利用变化主要受气候变化和人类活动两大要素驱动，已成为相关领域众多研究者的共识。但在具体的驱动形式上，因地形地貌、水文条件、流域面积等客观因素以及人口数量、制度政策、经济发展等社会基础条件上的差异，气候变化和人类活动在不同地区对土地利用变化驱动上的表现形式也会有差异。

就本文研究区而言，因四周高、中间低的地形特点，泊江海子湖泊不仅是研究区内地表水的主要汇集区，同时也得到研究区内浅层地下水的补给[22]。研究区地处西北内陆高原，降雨量少而蒸发强烈。研究区的这种水文气象条件使得区内各类陆地生态系统对气候变化和人类活动干扰更为敏感。而在社会条件方面，研究区所在的泊江海子镇人口总量约为 23 000 人，但其常住人口却呈下降趋势，2015 年的常住人口仅为 1 000 人左右[37]。泊江海子镇距东胜区约 45 km，其常住人口数量的下降，除因生活水平提高而主动外迁的人口之外，也与当地的生态移民政策有关。2006—2010 年间泊江海子镇共转移农村人口 7 340 人[37]。而在退耕还林、退牧还草的生态建设工程政策实施的影响之下，泊江海子镇的牲畜存栏量由 2005 年的 12 万头减少到 2010 年的不足 3 万头[37]。基于研究区的自然环境和社会环境特征，本文未采用人口数量、牲畜存栏量、国民生产总值等社会经济基础指标，而是选取了更加具有针对性和代表性的生态恢复工程建设和水利工程建设两个主要指标对研究区土地利用变化的驱动因素进行分析，以便更加清晰地呈现研究区人类活动与土地利用变化的关系。

水资源不合理利用是引发研究区生态系统服务功能退化的最主要原因之一，而因生态系统服务功能不断退化导致泊江海子湖泊中的湖心岛作为遗鸥繁殖栖息地功能的丧失，使得如何合理分配水资源以改善区内生态系统服务功能，成为研究区当前面临的最紧迫问题。合理规划研究区的土地利用，如发展种植低耗水的固沙林种、减少河流上游汇水区的耕地等，合理分配流域水资源，提高水资源利用效率，是改善研究区生态系统服务功能、保障研究区生态系统可持续健康发展的重要措施。

3.2 结论

泊江海子流域生态系统脆弱，流域内土地利用方式和格局的变化直接影响着流域生态系统服务功能的种类和强度。近十几年来，因流域生态系统服务功能退化，遗鸥繁殖栖息地受到极大威胁。本文基于 Landsat 影像数据，对研究区 1990—2015 年间的 6 期土地利用数据进行分类提取，利用趋势与状态指数及净变化速度等方法分析了研究区 26 年间土地利用变化特征，并对其驱动因素进行分析，得出如下结论。

1)泊江海子流域 1990—2015 年间土地利用变化显著。在空间分布变化上，研究区东部、西部及中北部区域呈耕地面积增加、高覆盖度草地减少的趋势，南部呈林地和低覆盖度草地增加、高覆盖度草地和未利用地减少的趋势。在面积变化上，研究期内草地整体面积约占流域总面积的 70%，高覆盖度草地面积减少，中、低覆盖度草地面积增加。耕地面积增加，占流域总面积的比例由 1990 年的 9.85%增加到 2015 年的 15.90%。未利用地面积减少，占流域总面积的比例由 1990 年的 13.24%减少到 2015 年的 5.62%。研究期内水域面积减少了流域总面积的 1.45%，滩地面积增加了流域总面积的 1.41%，林地和建设用地面积均呈弱增加趋势。

2)在土地利用类型转换上，3 种覆盖度草地之间及草地与其他土地利用类型之间处于动态平衡状态。草地是耕地、林地和建设用地面积增加的主要转入来源，同时也是未利用地的主要转出去向。水域面积减少是滩地面积增加的主要原因。1995—2000 年是研究期内各土地利用类型间转换最为频繁的研究时段。2005—2010 年间土地利用变化动态不平衡状态最为突出，研究区各土地利用类型间呈单向转入或转出的变化趋势。

3)研究区土地利用变化受气候变化和人类活动两个驱动因素综合作用的表现明显。降雨减少、气温升高及伴随的蒸发增大是气候变化驱动研究区土地利用变化的主要表现形式，生态恢复工程和水利工程建设是人类活动驱动研究区土地利用变化的主要表现形式。耕地、建设用地、林地面积的增加及未利用地面积的减少主要受人类活动的驱动影响，水域、高覆盖度草地面积的减少及滩地、中、低覆盖度草地面积的增加是气候变化和人类活动综合驱动的结果。

致谢：感谢中国科学院资源环境科学数据中心在本文土地利用类型数据验证过程中提供的数据支撑；特别感谢中国科学院地理科学与资源研究所的徐新良研究员在土地利用类型遥感解译及验证方面中提供的指导和帮助。

参考文献 References

[1] 白晓飞, 陈焕伟. 不同土地利用结构生态系统服务功能价值的变化研究——以内蒙古自治区伊金霍洛旗为例[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(1): 180–182

Bai X F, Chen H W. The changes of ecosystem services and their values in various constructions of land use — A case study from Yijinhuoluo County of Inner Mogolia[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2004, 12(1): 180–182

[2] 陈颖, 石培基, 潘竟虎. 高原生态城土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究——以甘肃省民乐县为例[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 154–159

Chen Y, Shi P J, Pan J H. Analysis on the effect of land-use change on ecosystem service value in the plateau eco-city — A case study of Minle County[J]. Research of Soil and water Conservation, 2012, 19(2): 154–159

[3] 贺克雕, 段昌群, 杨世美, 等. 土地利用/覆被变化的水文水资源响应研究综述[J]. 水资源研究, 2015, 4(3): 240–248

He K D, Duan C Q, Yang S M, et al. Advances in hydrological and water resources response to land use/cover change[J]. Journal of Water Resources Research, 2015, 4(3): 240–248

[4] 邓慧平. 气候与土地利用变化对水文水资源的影响研究[J]. 地球科学进展, 2001, 16(3): 436–441

Deng H P. Impacts of climate change and land use-land cover change on hydrology and water resources[J]. Advance in Earth Sciences, 2001, 16(3): 436–441

[5] Meyer W B, Turner B L. Human population growth and global land-use/cover change[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1992, 23: 39–61

[6] IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013: 1535

[7] Zhang Y, Wang T W, Cai C F, et al. Landscape pattern and transition under natural and anthropogenic disturbance in an arid region of northwestern China[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2016, 44: 1–10

[8] Dale V H. The relationship between land-use change and climate change[J]. Ecological Applications, 1997, 7(3): 753–769

[9] Dilly O, Hüttl R F. Top-down and Europe-wide versus bottom-up and intra-regional identification of key issues for sustainability impact assessment[J]. Environmental Science & Policy, 2009, 12(8): 1168–1176

[10] 李艳忠, 刘昌明, 刘小莽, 等. 植被恢复工程对黄河中游土地利用/覆被变化的影响[J]. 自然资源学报, 2016, 31(12): 2005–2020

Li Y Z, Liu C M, Liu X M, et al. Impact of the grain for green project on the land use/cover change in the middle Yellow River[J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(12): 2005–2020

[11] 张晓萍, 张橹, 穆兴民, 等. 黄河中游河口-龙门区间多年平均流域水平衡特征——区域蒸散量估算模型验证与下垫面参数校核[J]. 地理学报, 2007, 62(7): 753–763

Zhang X P, Zhang L, Mu X M, et al. The mean annual water balance in the hekou-longmen section of the middle Yellow River: Testing of the regional scale water balance model and its calibration[J]. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(7): 753–763

[12] 许炯心. 黄河中游径流可再生性对于人类活动和气候变化的响应[J]. 自然资源学报, 2015, 30(3): 423–432

Xu J X. Runoff renewability in the middle Yellow River in response to human activity and climate change[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(3): 423–432

[13] 罗娅, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 黄河河口镇—潼关区间 1998–2010 年土地利用变化特征[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 42–53

Luo Y, Yang S T, Liu X Y, et al. Land use change in the reach from Hekouzhen to Tongguan of the Yellow River during 1998–2010[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 42–53

[14] 刘晓林, 杨胜天, 周旭, 等. 1980 年以来黄河内蒙古段十大孔兑流域土地利用变化时空特征[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(1): 30–36

Liu X L, Yang S T, Zhou X, et al. Spatial-temporal characteristics of land use changes in the ten tributaries of Yellow River in Inner-Mongolia since 1980[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Techology, 2016, 14(1): 30–36

[15] 何芬奇, 任永奇, 郭玉民. 内蒙古桃-阿海子的生境演替与水鸟群落的兴衰[J]. 湿地科学与管理, 2015, 11(2): 54–58

He F Q, Ren Y Q, Guo Y M. Habitat succession and development of waterbird population in Tiaolimiao-Alashan Lake in Inner Mongolia[J]. Wetland Science & Management, 2015, 11(2): 54–58

[16] 鲁瑞洁, 夏虹, 强明瑞, 等. 近 130a 来毛乌素沙漠北部泊江海子湖泊沉积记录的气候环境变化[J]. 中国沙漠, 2008, 28(1): 44–49

Lu R J, Xia H, Qiang M R, et al. Environmental evolution in past 130 years recorded by Bojianghaizi Lake sediments in North Mu Us desert, China[J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(1): 44–49

[17] 杨志荣, 张梅青. 鄂尔多斯泊江海子地区 800 余年来的气候与环境变化[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 1997, 20(4):

74–81
Yang Z R, Zhang M Q. Climatic and environmental changes since 800 a B P in Pojianghaizi Lake Area, Ordos Plateau[J]. Natural Science of Hunan Normal University, 1997, 20(4): 74–81
[18] 翟秋敏, 邱维理, 李容全, 等. 内蒙古安固里淖-泊江海子全新世中晚期湖泊沉积及其气候意义[J]. 古地理学报, 2000, 2(2): 84–91
Zhai Q M, Qiu W L, Li R Q, et al. The middle and late holocene lacustrine sediments and its climate significance of Angulinao-Bojianghaizi Lakes, Inner Mongolia[J]. Journal of Palaeogeography, 2000, 2(2): 84–91
[19] 何芬奇, 任永奇. 鄂尔多斯遗鸥繁殖地的变迁[J]. 大自然, 2006, (4): 16–17
He F Q, Ren Y Q. The changes of *Larus relictus* breeding grounds in Ordos[J]. China Nature, 2006, (4): 16–17.
[20] 张荫荪, 何芬奇, 陈容伯, 等. 遗鸥繁殖生境选择及其繁殖地湿地鸟类群落研究[J]. 动物学研究, 1993, 14(2): 128–135
Zhang Y S, He F Q, Chen R B, et al. Breeding habitat selection of the relict gull and the wetland bird community around its breeding sites[J]. Zoological Research, 1993, 14(2): 128–135
[21] Wang F, Lliang L L, Zhang Y S, et al. Eco-hydrological model and critical conditions of hydrology of the wetland of Erdos *Larus Relictus* Nature Reserve[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 307–313
[22] 梁康, 娄华君, 程传周. 鄂尔多斯泊江海子流域地下水流特征[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1089–1098
Liang K, Lou H J, Cheng C Z. Characteristics of groundwater flow in the Ordos *Larus relictus* reserve wetland[J]. Resources Science, 2011, 33(6): 1089–1098
[23] 梁犁丽, 王芳. 鄂尔多斯遗鸥保护区植被-水资源模拟及其调控[J]. 生态学报, 2010, 30(1): 109–119
Liang L L, Wang F. Simulation of water resources evolution driven by vegetation construction and control of eco-hydrological processes in Erdos *Larus relictus* nature reserve[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(1): 109–119
[24] 邢小军, 于向芝, 白兆勇, 等. 鄂尔多斯遗鸥自然保护区湿地水量平衡分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(6): 100–103
Xing X J, Yu X Z, Bai Z Y, et al. Analysis of water balance of the wetland in Erdos *Larus relictus* nature reserve[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(6): 100–103
[25] Liang K. Quantifying streamflow variations in ungauged lake basins by integrating remote sensing and water balance modelling: A case study of the Erdos *Larus relictus* national nature reserve, China[J]. Remote Sensing, 2017, 9(6): 588
[26] 何芬奇, 张荫荪, 叶恩琦, 等. 鄂尔多斯桃力庙-阿拉善湾海子湿地鸟类群落研究与湿地生境评估[J]. 生物多样性, 1996, 4(4): 187–193
He F Q, Zhang Y S, Ye E Q, et al. Study on the wetland bird community and assessment on wetland habitat of the Taolimiao-Alashan Nur in Ordos of Inner Mongolia, China[J]. Chinese Biodiversity, 1996, 4(4): 187–193
[27] Liu D, Cao C X, Chen W, et al. Monitoring and predicting the degradation of a semi-arid wetland due to climate change and water abstraction in the Ordos *Larus relictus* national nature reserve, China[J]. Geomatics, Natural Hazards and Risk, doi: 10.1080/19475705.2016.1220024 (in Press)
[28] 王生霞, 丁永建, 叶柏生, 等. 基于气候变化和人类活动影响的土地利用分析——以新疆阿克苏河流域绿洲为例[J]. 冰川冻土, 2012, 34(4): 828–835
Wang S X, Ding Y J, Ye B S, et al. A land use analysis based on the influences of climate change and human activities — A case study in the Aksu Rver Basin oasis[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34(4): 828–835
[29] 王云琦, 齐实, 孙阁, 等. 气候与土地利用变化对流域水资源的影响——以美国北卡罗莱纳州 Trent 流域为例[J]. 水科学进展, 2011, 22(1): 51–58
Wang Y Q, Qi S, Sun G, et al. Impacts of climate and land-use change on water resources in a watershed: A case study on the Trent River basin in North Carolina, USA[J]. Advances in Water Science, 2011, 22(1): 51–58
[30] 李富程, 王青, 李国蓉. 绵阳官司河流域土地利用/覆被变化特征及驱动力分析[J]. 农业现代化研究, 2009, 30(6): 727–730
Li F C, Wang Q, Li G R. Analysis on land use/cover change characteristics and driving forces in Guansi River valley of Mianyang city[J]. Research of Agricultural Modernization, 2009, 30(6): 727–730
[31] 吴青奋. 打造绿色东胜-东胜区实施生态工程纪实[N]. 鄂尔多斯日报, 2006-08-16(A02)
Wu Q F. Building a green Dongsheng — The documentary of ecological engineering implementation in Dongsheng District[N]. Ordos Daily, 2006-08-16(A02)
[32] 连桂梅, 张国栋. 东胜区 2004 年以来完成重点工程造林 16 万亩[N]. 鄂尔多斯日报, 2008-01-09(002)
Lian G M, Zhang G D. More than 100 km^2 forestry have been finished since 2004 in Dongsheng District[N]. Ordos Daily, 2008-01-09(002)
[33] 白凤忠, 连桂梅. 东胜区禁牧舍饲成效显著[N]. 鄂尔多斯日报, 2007-10-31(002)
Bai F Z, Lian G M. Grazing prohibition have been strikingly successful in Dongsheng District[N]. Ordos Daily,

2007-10-31(002)

[34] Yan G Z, Lou H J, Liang K, et al. Dynamics and driving forces of Bojiang Lake area in Erdos *Larus relictus* National Nature Reserve, China[J]. Quaternary International, 2017, doi: 10.1016/j.quaint.2016.12.034

[35] 甘红, 刘彦随, 李宪文. 区域土地利用变化与水资源利用相关分析[J]. 南京师大学报: 自然科学版, 2003, 26(3): 82–88
Gan H, Liu Y S, Li X W. Analysis of the correlativity between regional land use change and water resources optimal use[J]. Journal of Nanjing Normal University: Natural Science, 2003, 26(3): 82–88

[36] 杨红岩. 2002 年东胜区政府工作报告[EB/OL]. 东胜之窗, [2017-03-05]. http://www.ds.gov.cn/zw/gzbg103534/index.html
Yang H Y. Dongsheng District government work report in 2002[EB/OL]. The Window of Dongsheng District, [2017-03-05]. http://www.ds.gov.cn/zw/gzbg103534/index.html

[37] 东胜区政府. 东胜区区情介绍[EB/OL]. 东胜之窗, [2017-03-05]. http://www.ds.gov.cn/qq/gk/qqjs103236/
Dongsheng District Government. Regional orientation of Dongsheng District[EB/OL]. The Window of Dongsheng District, [2017-03-05]. http://www.ds.gov.cn/qq/gk/qqjs103236/